

## Глава 4. Потенциал на електростатично поле

### 4.1. Енергия и работа

За всички тела, които са в състояние да извършват работа, казваме, че притежават енергия. Енергията на едно тяло се преценява по работата, която може да извърши то при преминаване от едно състояние в друго. Енергията бива два вида: енергия на движение или *кинетична енергия* и енергия на взаимодействие или *потенциална енергия*.

За сметка на кинетичната енергия тялото може да извърши работа. Притежавайки потенциална енергия, тялото също може да извърши работа благодарение на консервативна сила, която обуславя тази енергия. Понятието потенциална енергия се въвежда само за консервативни сили, работата на които не зависи от формата на траекторията, а зависи само от началното и крайно положение на тялото. Пример за консервативна сила наред със силата на тежестта и еластичната сила е и силата на взаимодействие на електричния заряд с електрическото поле.

Нека пробен заряд  $q$  се премества в електростатично поле от точка 1 в точка 2 по дадена траектория под действие на няколко сили (фиг.4.1). Всяка сила извършва над заряда работа. Нас ни интересува работата, извършвана над заряда от силите на електростатичното поле.

Цялата траектория може да се разбие на много малки участъци, така че на всеки участък полето може да се счита за еднородно. Работата на електрическото поле на всеки такъв участък е равна на скаларното произведение на векторите  $\vec{F}$  - силата на този участък и проекцията на преместването  $\Delta\vec{l}$  върху направлението на силовите линии.

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \Delta\vec{l} = F \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha$$

или

$$A = \sum_l F \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha$$

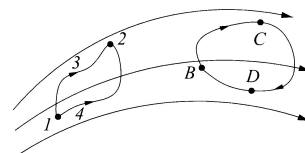
Работата зависи само от началното и крайно положение на телата. И не зависи от формата на траекторията. Например, работите по траекториите 1-3-2 и 1-4-2 (фиг.4.1) са равни. От независимостта на работата от формата на траекторията следва, че работата по затворена траектория е равна на нула. Например, работата на силите на електростатичното поле при преместване по затворена траектория  $BCDB$  (фиг.4.1) на заряд  $q$  е равна на нула:  $A_{BCDB} = 0$ . Полета, за които работата на силите на полето не зависи от формата на траекторията, се наричат *потенциални*. А силите на електростатичното поле се явяват *консервативни*. За такива полета може да се въведе понятието потенциална енергия  $W$  и потенциал  $\varphi$ . За електростатическо поле работата на силите на полето при преместване на заряда от точка 1 в

### 4.1. Енергия и работа

### 4.2. Потенциал и потенциална разлика

### 4.3. Връзка между интензитет и потенциална разлика

### 4.4. Еквипотенциални повърхности



Фиг.4.1. Траектории на пробен заряд

точка 2 е равна на намалението (взето с обратен знак) на потенциалната енергия на заряда в полето:

$$A_{12} = W_1 - W_2 = -\Delta W. \quad (4.1)$$

## 4.2. Потенциал и потенциална разлика

Видяхме, че електростатичната сила е консервативна. Поради това всяко заредено тяло в електростатично поле притежава потенциална енергия, която, както и електрическата сила, се определя от два независими фактори:

- заряда на тялото, неговата форма и размери;
- свойства на електрическото поле в областта на разположение на телата.

Ако тялото е *точков* заряд, неговата потенциална енергия  $W$  зависи само

- от големината на заряда  $q$  и координатите на точката, в която се намира заряда;
- от свойствата на полето в точката на разположение на заряда.

Този факт може по аналогия с формулата  $\vec{F} = q\vec{E}$  може да се представи в следния вид:

$$W = q\varphi, \quad (4.2)$$

където скаларната величина  $\varphi$  се нарича *потенциал на електростатичното поле* или *електричен потенциал*.

Както и интензитетът  $\vec{E}$ , електричният потенциал  $\varphi$  напълно характеризира електростатичното поле във всяка негова точка, поради което потенциала също се счита за *основна* характеристика на електростатичното поле.

От (4.2) определяме електрическия потенциал

$$\varphi = \frac{W}{q}. \quad (4.3)$$

**Електричният потенциал** е скаларна физическа величина, характеризираща енергията на взаимодействие на заряда с електричното поле. Потенциала е равен на отношението на потенциалната енергия, която притежава пробен положителен заряд, поставен в дадена точка на полето, към стойността на този заряд.

Потенциала е енергетична характеристика на полето, независеща от величината на пробния заряд. С въвеждането на потенциала за работата  $A_{12}$  от (4.1) можем да запишем:

$$A_{12} = W_1 - W_2 = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (4.4)$$

Разликата в потенциалите (потенциална разлика)  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  зависи само от положението на точките 1 и 2.

**Потенциалната разлика** (напрежение) е скаларна величина, характеризираща разликата между енергиите на взаимодействие на заряда с електрическото поле в две точки от пространството. Потенциалната разлика е равна на отношението на работата, извършвана от електричното поле при пренасяне на заряда от

началната точка в крайната, към стойността на пренесения заряд. Потенциалната разлика се нарича още напрежение и се бележи с  $U$ :

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}. \quad (4.5)$$

Потенциалната енергия и потенциала се определят с точност до произволна константа. Потенциала (и потенциалната енергия) могат да се отчитат от някоя точка, полагайки потенциала в нея равен на нула. Обикновено полагат потенциала равен на нула в безкрайно отдалечена точка на полето или потенциала спрямо Земята.

Пренасяме мислено пробния заряд от дадена точка на електростатичното поле с потенциал  $\varphi$  в безкрайност. Силите на полето извършват върху заряда работа, която съгласно (4.4) е  $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_\infty)$ . Ако се приеме  $\varphi_\infty = 0$ , то

$$\varphi = \frac{A}{q}. \quad (4.6)$$

Равенство (4.6) е удобен за намиране на потенциала на дадена точка на полето. От принципа на суперпозиция на електрическите полета и (4.6) може да се каже, че потенциала на полето, създадено от няколко заряда, е равен на сумата от потенциалите на полетата, създадени от отделните заряди:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots = \sum_i \varphi_i. \quad (4.7)$$

Единица за потенциална разлика. единицата за потенциална разлика се установява с помощта на формула (4.6). В Международната система измерителни единици работата се измерва в джаули J, а заряда - в кулони C. Поради това потенциалната разлика между две точки числено е равна на единица, ако при преместване на заряд 1C от една точка в друга електрическото поле извършва работа 1J. Тази единица се нарича волт V;  $1V=1J/1C$ .

### 4.3. Връзка между интензитет и потенциална разлика

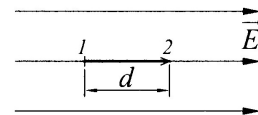
Във всяка точка на електростатичното поле съответстват определени стойности на потенциала и интензитета на полето. Да намерим връзка между интензитет на електричното поле с потенциала.

Да разгледаме еднородно електростатично поле с интензитет  $\vec{E}$ . Преместваме пробния положителен заряд  $q$  по направление на силовата линия на разстояние  $d$  от точка 1 до точка 2 (фиг.4.2). От страна на електричното поле на заряда е приложена сила  $\vec{F} = q\vec{E}$ .

Полето при този преход извършва положителна работа

$$A = Fd = qEd. \quad (4.8)$$

От друга страна тази работа може да се изрази чрез преносимия заряд и потенциалната разлика



Фиг.4.2. Преместване на заряд успоредно на интензитета

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (4.9)$$

От (4.8) и (4.9) следва:

$$qEd = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

или

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = Ed. \quad (4.10)$$

Тази зависимост може да се обобщи, ако в еднородно поле се вземат произволни точки 1 и 2 (фиг.4.3). Прекарваме през тези точки ос  $Ox$ . Тогава

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = E_x d, \quad (4.11)$$

където  $E_x$  е праекцията на интензитета на полето върху оста  $Ox$ .

Ако полето е нееднородно, то израза (4.11) може да се приложи, ако вземем вместо разстоянието  $d$ , толкова малко разстояние  $\Delta d$ , че нееднородността в участъка 1-2 може да се пренебрегне.

Разглеждайки израза (4.10), може да се направи извода, че потенциала намалява по направление на силовата линия на полето. Това твърдение е вярно и за нееднородно поле.

#### 4.4. Еквипотенциални повърхности

**Еквипотенциална повърхност** представлява геометрично място на точки с еднакъв електрически потенциал.

При преместване на заряда под ъгъл  $90^\circ$  спрямо силовите линии електрическото поле не извършва работа, тъй като силата е перпендикулярна на преместването. Значи ако се прекара повърхност, перпендикулярна във всяка нейна точка на силовите линии, то при преместване на заряда по тази повърхност, работа не се извършва. А това означава, че всички точки от повърхността, перпендикулярна на силовите линии, имат един и същи потенциал:

$$\varphi_1 = \varphi_2, \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

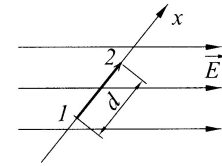
Работата е равна на нула при пренасяне на заряда на произволно малък участък от пътя, ако силата е перпендикулярна на преместването:

$$A = F \Delta l \cos \alpha, \text{ ако } \alpha = 90^\circ, \text{ то } A = 0.$$

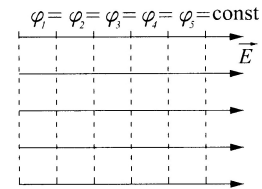
Следователно еквипотенциалните повърхности са перпендикулярни на силовите линии във всяка точка.

Еквипотенциалните повърхности на еднородно поле представляват успоредни равнини (фиг.4.4), а на полето на точков заряд - концентрични сфери (фиг.4.5).

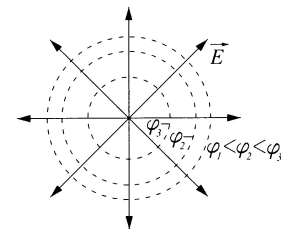
Подобно на силовите линии еквипотенциалните повърхности качествено характеризират разпределението на полето в пространството. Вектора на интензитета е перпендикуларен на еквипотенциалните повърхности и е насочен в посока на намаляване на потенциала. Това е особено очевидно при примера на поле на положителен точков заряд (фиг.4.5). Потенциала намалява в посока на отдалечаване от точковия заряд, а интензитетът на полето е



Фиг.4.3. Преместване на под ъгъл на интензитета



Фиг.4.4. Еквипотенциални повърхнини на еднородно поле



Фиг.4.5. Еквипотенциални повърхнини на нееднородно поле (точков заряд)

насочана от заряда по посока на радиусите на концентричните сфери. Колкото е по-голям интензитета на полето, толкова разстоянието между съседни еквипотенциални повърхности е по-малко.

Еквипотенциални се явяват повърхностите на всеки проводник в електростатическо поле. Освен това не само повърхността, но и всички точки вътре в проводника имат един и същ потенциал.